

**Плосконос Віктор Григорович**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Ploskonos Viktor**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist,  
Assistant Professor of the Department of Ecology and Plant Polymers Technology  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Гондовська Анна Сергіївна**

*магістрант  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Gondovskaya Anna**

*Graduating Student of the  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

DOI: 10.25313/2520-2057-2022-14-8401

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВХІДНИХ ФАКТОРІВ НА ПОКАЗНИКИ  
ПАКУВАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ З МЕТОЮ  
ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ ОПТИМУМУ**

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВХОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ  
УПАКОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ЦЕЛЬЮ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ ОПТИМА**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF INPUT FACTORS  
ON INDICATORS OF PACKAGING MATERIAL WITH THE PURPOSE  
OF DETERMINING THE AREA OF OPTIMUM**

**Анотація.** З метою визначення умов для виготовлення пакувальних матеріалів із заданими властивостями в серії пошукових робіт застосовано комплекс комп'ютерних технологій. На даному етапі досліджень наведено аналіз впливу факторів, виконаного на основі математичних моделей, створених на одному із попередніх етапів. На основі отриманих результатів на наступному етапі даної дослідної роботи буде проведено пошук оптимальних умови з метою створення нових видів пакувальних матеріалів із заданими властивостями.

**Ключові слова:** пакувальний матеріал, вхідні фактори, математичні моделі, комп'ютерні технології.

**Аннотация.** С целью поиска условий изготовления упаковочных материалов с заданными свойствами без содержания экологически вредных добавок применен комплекс компьютерных технологий. Для достижения поставленных целей на данном этапе исследований проведен детальный анализ созданных на предыдущем этапе данной работы математических моделей. На базе полученных результатов анализа на следующем этапе данной работы планируется разработать оптимальные условия для создания новых видов упаковочных материалов с заданными свойствами.

**Ключевые слова:** упаковочный материал, входные факторы, математические модели, компьютерные технологии.

**Summary.** A set of computer technologies has been used to find conditions for the production of packaging materials with specified properties without the content of environmentally harmful additives. To achieve this goal at this stage of research conducted a detailed analysis of mathematical models created at the previous stage of this work. Based on the results of the analysis at the next stage of this work it is planned to develop optimal conditions for creating new types of packaging materials with specified properties.

**Key words:** packaging material, strength indicators, mathematical models, computer technology.

Пакувальні матеріали, які розробляються без використання екологічно шкідливих хімічних добавок, можливо віднести до нового покоління упакування [1], що є досить актуальним завданням на сьогоднішній день.

Метою даної статті є дослідження впливу вхідних факторів, що виконано на основі математичних моделей [2; 3], які були розроблені на попередніх етапах даної дослідницької роботи. На основі отриманих результатів на наступному із етапів даної роботи буде проведено пошук оптимальних умови з метою подальшого створення нових видів пакувальних матеріалів із заданими властивостями.

Таким чином, на даному етапі роботи проводиться аналіз змінювання показників пакувального матеріалу під впливом вхідних факторів. Мета даного етапу роботи — визначення області, в межах якої буде за допомогою комп'ютера будуть визначені параметри і технологічні умови для подальшого розроблення пакувального матеріалу з заданими комплексом бар'єрних і міцнісних характеристик.

Для відтворення повної картини необхідно взяти до уваги також і модель за показником жиропро проникності (1), яка була розроблена в роботі [3] та результати дослідження з впливу факторів на показник жиропро проникності (рис. 1), які відтворюють особливості даної моделі і наведені нижче:

$$Y_{\text{жиропрон.}} = 2,12 + 1,9 \cdot 10^{-1} \cdot X_1 \cdot \cos(X_2) \cdot \cos^2(X_6) \cdot \cos(X_7) \cdot X_8 + 3,90 \cdot 10^{-2} \cdot X_2 \cdot \sin^2(X_3) \cdot \cos(X_3) \cdot \sin(X_4) \cdot X_5 - 8,60 \cdot \sin(X_6) \cdot X_7 \cdot \cos(X_8) \cdot \sin(X_8) + 1,61 \cdot \sin(X_1) \cdot \cos(X_2) \cdot \sin^2(X_3) + 1,37 \cdot 10^{-1} \cdot \cos(X_1) \cdot \cos(X_4) \cdot X_5 \cdot \cos(X_6) \cdot \sin(X_8) \cdot \cos(X_8) \quad (1)$$

Фактори, вплив яких на характеристики пакувального матеріалу потрібно відслідковувати, можуть бути розбиті на дві групи: одна з них (перша) характеризує якісні показники паперу-основи, на поверхню якого наносився водний розчин складу з суміші хімічних компонентів, а саме:  $X_1$  — щільність паперу;  $X_2$  — повітропроникність паперу-основи;  $X_3$  — поверхнева вбирність води під час однобічного змочування. Друга група факторів характеризує компоненти складу з суміші хімічних речовин, а саме:  $X_4$  — масова частка розчину компонента 1, присутність якого в розчині сприяє зниженню показника жиропро проникності паперу-основи;  $X_5$  — масова частка розчину компонента 2;  $X_6$  — масова частка розчину компонента 3;  $X_7$  — масова частка розчину компонента 4;  $X_8$  — витрата розчину складу з суміші хімічних компонентів.

Необхідно зауважити, що введення до складу суміші добавок компонентів 2, 3 і 4 сприяє не тільки зниженню показника жиропро проникності, тобто підвищенню опору проходженню жиру у папір і забезпеченню високого рівня жиронепро проникності, але і підвищенню пластичності, механічної міцності (руйнівного зусилля, відносного видовження у поперечному напрямку, міцності на злом під час подвійних перегинів), в тому числі вологоміцності пакувального паперу та технологічності його перероблення під час фасування, нанесення фарбової етикетки, транспортування і зберігання запакованої продукції.

Особливість методики аналізу полягає в тому, що вона дає змогу визначити результати впливу кожної із вищезгаданих груп факторів з метою

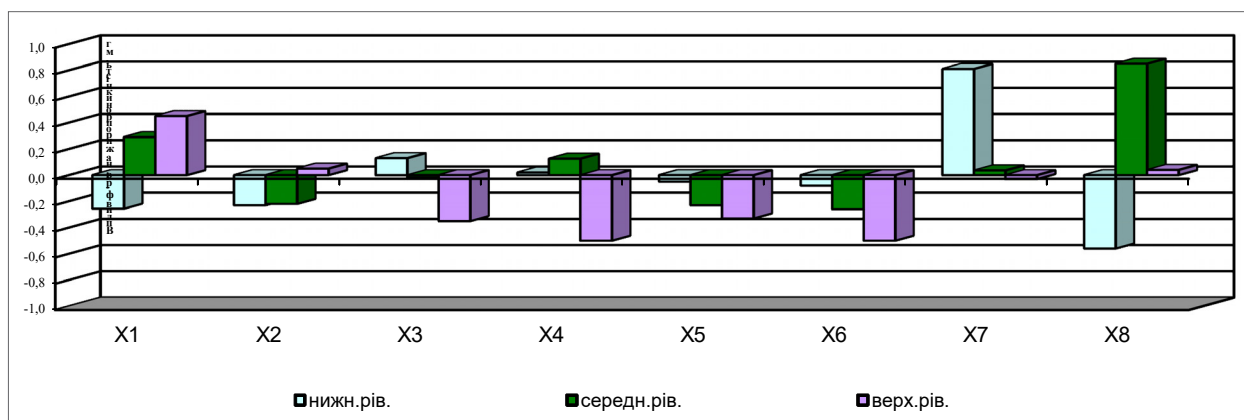


Рис. 1. Вплив досліджуваних вхідних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник жиропро проникності ( $Y_{\text{жиропро проникність}}$ )

вивчення характеру та сили особистого впливу кожного фактора.

Виходячи з ситуації, визначення області пошуку з допомогою комп'ютера параметрів і технологічних умов розпочинається з аналізу впливу факторів ( $X_1$ - $X_3$ ), які входять до першої групи і характеризують якісні показники паперу-основи, тобто його щільності, повітропроникності та поверхневої вбирності води на всі показники, за якими були створені математичні моделі (1-9) [1], включаючи і показник жиропроникності.

На показник жиропроникності пакувального матеріалу впливають всі три фактори, що характеризують якісні показники паперу-основи. Так, за рахунок підвищення щільності паперу ( $X_1$ ) (з 0,72 до 0,98 г/см<sup>3</sup>) можливе зниження показника жиропроникності (зростання показника жиронепроникності) на 0,25 од. Але практично скористатися цим можна лише у випадку, коли всі інші фактори ( $X_2$ - $X_3$ ) зафіксовані на нижньому рівні, тобто на папір-основу нанесено мінімальний шар водного розчину складу з суміші хімічних компонентів. Якщо ж на папір-основу нанесено максимальний шар водного розчину складу з суміші хімічних компонентів, то вплив фактора  $X_1$  втрачає практичний сенс (див. рис. 1 — вплив фактора  $X_1$ ). За рахунок зростання повітропроникності паперу-основи ( $X_2$ ) (в межах: 2,4-9,5 см<sup>3</sup>/хв) можливе зниження показника жиропроникності пакувального матеріалу на 0,23 од. За рахунок зростання однобічного змочування паперу-основи ( $X_3$ ) (в межах: 8-64 г/см<sup>2</sup>) можливе зниження показника жиропроникності пакувального матеріалу (зростання його жиронепроникності) на 0,35 од. (у випадку, коли фіксація всіх інших факторів відповідає максимальному рівню).

На показник руйнівного зусилля [3] із першої групи факторів, що характеризують якісні показники паперу-основи ( $X_1$ - $X_3$ ), суттєвий вплив має лише  $X_2$ , тобто повітропроникність паперу-основи. Так, значення показника руйнівного зусилля може зрости на 22 од. у випадку, коли всі інші фактори зафіксовані на нижньому або на середньому рівнях. У випадку, коли ж на папір-основу нанесено максимальний шар водного розчину складу з суміші хімічних компонентів (максимальний рівень фіксації всіх інших факторів), показник руйнівного зусилля може зменшитися на 40 од.

На показник відносного видовження (машинний напрям [3] та поперечний напрям, із першої групи факторів ( $X_1$ - $X_3$ ), що характеризують якісні показники паперу-основи, найбільш суттєвий вплив має фактор  $X_3$ , а саме: за рахунок зростання однобічного змочування паперу-основи (в межах: 8-64 г/см<sup>2</sup>) можливе зростання показника вбирності води (машинний напрям) на 0,5 од. (середній рівень фіксації факторів) та 1,25 од. (максимальний рівень фіксації інших факторів),

зростання показника вбирності води (поперечний напрям) на 0,56 од. (нижній рівень фіксації інших факторів) Разом з тим, на показник вбирності води (поперечний напрям) негативно впливають змінювання факторів  $X_1$ ,  $X_2$  та  $X_3$  (максимальний рівень фіксації інших факторів). В останньому випадку зниження показника вбирності води можливе в межах 1,0 од.

На показник міцності на злом (машинний напрям [3] та поперечний напрям, фактори  $X_1$ - $X_3$ , що характеризують якісні показники паперу-основи, проявляють свою силу впливу в ситуації, коли на папір-основу нанесено максимальний шар водного розчину складу з суміші хімічних компонентів (максимальний рівень фіксації всіх інших факторів). Такі висновки стосуються, в основному, показника міцності на злом (поперечний напрям). Так, за рахунок підвищення щільності паперу ( $X_1$ ) (з 0,72 до 0,98 г/см<sup>3</sup>) можливе зниження показника міцності на злом (поперечний напрям) майже на 2000 од., за рахунок зростання повітропроникності паперу-основи ( $X_2$ ) (в межах: 2,4-9,5 см<sup>3</sup>/хв) та за рахунок зростання однобічного змочування паперу-основи ( $X_3$ ) (в межах: 8-64 г/см<sup>2</sup>) можливе зростання даного показника від 4300 до 5500 од. Аналогічна картина спостерігається і з показником міцності на злом (машинний напрям), але максимальна границя зростання цього показника не перевищує 1100 од.

Характеризуючи вплив першої групи факторів ( $X_1$ - $X_3$ ) на показники вологоміцності, повітропроникності та вбирності води пакувального матеріалу, необхідно відзначити зростання показника вологоміцності за зміни кожного з цих факторів у вищевказаних межах. Максимальний приріст показника вологоміцності спостерігається за рахунок змінювання  $X_2$  (верхній рівень фіксації інших факторів). Деяке збільшення показника повітропроникності (в межах 0,5 од.) можливе лише за рахунок фактора  $X_3$  (середній та верхній рівні фіксації інших факторів), зміна факторів  $X_1$  та  $X_2$  призводить лише до погіршення показника повітропроникності пакувального матеріалу. Збільшення показника вбирності води пакувального матеріалу (в межах майже 11 од.) можливе лише за рахунок змінювання  $X_3$  (верхній рівень фіксації інших факторів).

Аналіз впливу факторів ( $X_4$ - $X_8$ ), що умовно віднесені до другої групи і які характеризують компоненти складу з суміші хімічних речовин, на всі показники, за якими були створені математичні моделі (1-9) [3], включаючи і показник жиропроникності, доповнює процес визначення області пошуку з допомогою комп'ютера параметрів і технологічних умов виготовлення пакувального матеріалу з заданими властивостями.

Беручи до уваги роль, яку відведено в суміші кожному із чотирьох компонентів, необхідно

оцінити їхній якісний вклад по кожному показнику, за якими були створені математичні моделі (1–9) [3].

Так, наприклад, за показником жиропроникності пакувального матеріалу (див. рис. 1) необхідно відмітити, що збільшення масової частки компонентів 1–3 в водному розчині суміші може призвести до зниження показника жиропроникності, максимально на 0,5 од. (верхній рівень фіксації інших факторів). Збільшення ж масової частки компонента 4 в водному розчині суміші практично не впливає на жиропроникність пакувального матеріалу окрім випадку фіксації інших факторів на нижньому рівні, коли за рахунок зростання масової частки компонента 4 в водному розчині суміші можливе підвищення жиропроникності пакувального матеріалу. Збільшення витрати розчину складу (фактор  $X_8$ ) при нижньому рівні фіксації інших факторів призводить до зниження показника жиропроникності майже на 0,6 од. і майже не впливає на показник жиропроникності (верхній рівень фіксації інших факторів).

Аналізуючи графічні залежності [3] впливу факторів ( $X_4$ – $X_8$ ) на показник руйнівного зусилля, необхідно відмітити, що лише підвищення масової частки компонентів 2 і 3 в водному розчині суміші може призвести до зменшення показника руйнівного зусилля (максимально на 26 од. — у випадку компонента 2), або до деякого зростання показника руйнівного зусилля (максимально на 9 од. — у випадку компонента 3). Збільшення ж витрати розчину складу (фактор  $X_8$ ) при нижньому рівні фіксації інших факторів призводить до зниження показника руйнівного зусилля майже на 14 од. і, разом з тим, можливе деяке зростання показника руйнівного зусилля майже на 9 од. у випадку середнього рівня фіксації інших факторів.

Аналізуючи вплив факторів  $X_4$ – $X_8$  на показник відносного видовження (машинний напрям) [3] та поперечний напрям, можливо констатувати, що лише підвищення масової частки компонентів 1 і 2 в водному розчині суміші може призвести до змінювання показника відносного видовження. Так, наприклад, підвищення масової частки компонента 1 призводить до зниження показника

відносного видовження (машинний напрям) (максимально на 1 од. — верхній рівень фіксації інших факторів), або підвищення показника відносного видовження (поперечний напрям) (максимально на 0,4 од. — середній рівень фіксації інших факторів). Збільшення ж витрати розчину складу (фактор  $X_8$ ) може призвести до деякого зростання показника відносного видовження (як в машинному так і поперечному напрямках) на величина від 0,2 до 0,5 од. (переважно у випадку фіксації інших факторів на верхньому рівні).

Аналізуючи вплив факторів  $X_4$ – $X_8$  на показник міцності на злом (машинний напрям) [3] та поперечний напрям, можливо відмітити, що підвищення цього показника (як в машинному так і поперечному напрямках) можливо досягти за рахунок підвищення масової частки компонентів 1 і 2 в водному розчині суміші. Максимальний приріст показника можливий в межах 1850–6000 од. за рахунок підвищення масової частки компонента 2 в водному розчині суміші (верхній рівень фіксації інших факторів). Збільшення ж витрати розчину складу (фактор  $X_8$ ) може призвести до незначного зростання показника міцності на злом (машинний напрям — фіксації інших факторів на середньому рівні), або зниження цього показника на 1259 од. (верхній рівень фіксації інших факторів), що є логічним.

Підвищення показників вологоміцності, повітропроникності та вбирності води пакувального матеріалу можливо добитися, в основному, за рахунок підвищення масової частки компонентів 1, 2 та 3 в водному розчині суміші (в більшості випадків при верхньому рівні фіксації інших факторів).

**Висновки.** В даній роботі за використання комп'ютерних технологій та засобів обчислювальної техніки проведено дослідження впливу входних факторів, що виконано на основі математичних моделей [2; 3], які були розроблені на попередніх етапах даної дослідницької роботи. На основі отриманих результатів на наступному із етапів даної роботи буде проведено пошук оптимальних умови з метою подальшого створення нових видів пакувальних матеріалів із заданими властивостями.

#### Література

1. Плосконос В.Г., Тіницька Є.Ю. Комплекс пошукових досліджень з метою створення пакувальних матеріалів із заданими властивостями // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2021. № 13 (113). С. 58–63.
2. Плосконос В.Г., Гондовська А.С. Дослідження математичних описів з метою визначення закономірностей в процесі розроблення пакувальних матеріалів із заданими властивостями // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2022. № 3 (132). С. 24–29.
3. Осика В.А., Рибальченко В.В., Коптюх Л.А. Жиростійкий пакувальний папір для харчових продуктів // Матеріали науково-практичної конференції «Пакувальна індустрія України». Алушта, Україна. 22–25.05.2007. С. 122–129.